ERZEUGUNG VON SEKUNDÄRSTRAHLEN

DURCH

KANAL- UND KATHODENSTRAHLEN

UND

REFLEXION VON KANALSTRAHLEN.

HABILITATIONSSCHRIFT

VERFASST UND DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KGL. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

VORGELEGT VON

DR. CHR. FÜCHTBAUER.

WÜRZBURG.

DRUCK DER KGL. UNIVERSITÄTS-DRUCKEREI VON H. STÜRTZ.

1907.

ERZEUGUNG VON SEKUNDÄRSTRAHLEN

DURCH

KANAL- UND KATHODENSTRAHLEN

UND

REFLEXION VON KANALSTRAHLEN.

HABILITATIONSSCHRIFT

VERFASST UND DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KGL. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

VORGELEGT VON

DR. CHR. FÜCHTBAUER.

WÜRZBURG.

DRUCK DER KGL. UNIVERSITÄTS-DRUCKEREI VON H. STÜRTZ.

1907.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507204_0117

Direkte Beobachtung der negativen Sekundärstrahlung und der Reflexion der Kanalstrahlen[1]).

Die erhebliche Verschiedenheit des Kathodenfalles der Glimmentladung in einem bestimmten Gase bei verschiedenen Kathodenmetallen brachte mich auf den Gedanken, dass die Kanalstrahlen beim Auftreffen auf Metalle eine für verschiedene Metalle verschieden starke negative Sekundärstrahlung hervorrufen könnten. Bei den ersten im November 1904 angestellten Versuchen wählte ich folgende Anordnung: (Fig. 1 gibt schematisch den wesentlichen Teil der benutzten Entladungsröhre.) Das die Aluminiumanode a enthaltende Entladungsrohr e ist in das als Kathode dienende Messingstück k eingekittet. k ist zur Erde abgeleitet. Die Kanalstrahlen gelangen durch das bei d mit einem Drahtnetz von $^1/_5$ mm Maschenweite verschlossene Röhrchen r (Länge 28 mm, Weite 4,? mm) in das Glasrohr f, welches auf der andern Seite in k eingekittet und zur Verhütung von Wandladungen mit Drahtnetz ausgekleidet ist. Die Strahlen fallen auf die mittelst eines Schliffes drehbare, auf der einen Seite mit Aluminium, auf der andern mit Kupfer belegte, abgeleitete Platte p (das Aluminium war so gut als möglich poliert, das Kupfer war mit Leder auf der Drehbank, dann mit feinstem Smirgelpapier und zuletzt mit Wienerkalk auf Hochglanz poliert.) In einem Kreise von 15 mm Radius sind um die Achse der Platte p 5 Auffänger (Plättchen von 3×3 mm Seitenlänge) angeordnet, deren durch Glasröhrchen

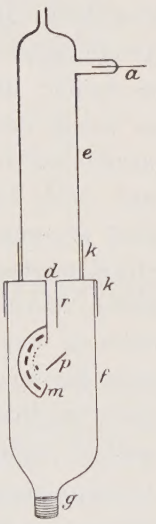


Fig. 1.

[1]) Vgl. Chr. Füchtbauer, Phys. Zeitschr. 7, 153 (1906).

isolierte Ableitungen durch die Kittstelle g das Rohr verliessen und einzeln mit einem empfindlichen D'Arsonval-Galvanometer verbunden werden konnten. Die Auffänger befanden sich in dem abgeleiteten Messingkästchen m, das die Sekundärstrahlen durch ein Drahtnetz von $^1/_5$ mm Maschenweite eintreten liess. Die Röhre war mit Luft gefüllt und bis zum Erscheinen guter Kanalstrahlen ausgepumpt. Die Entladungsspannung betrug 12000 bis 15000 Volt. Die Anode wurde mit einer Influenzmaschine verbunden, deren andere Elektrode zur Erde abgeleitet war. In der Tat flossen negative Ströme bis zu $4 . 10^{-9}$ Amp. durch die Auffänger zur Erde ab, falls dieselben sich noch vor der Ebene der Reflektorplatte befanden. Diejenigen Auffänger hingegen, welche sich hinter der durch die Platte p gelegten Ebene befanden, erhielten keinen Strom. Wurde die Platte p in die zur abgebildeten symmetrische Lage gedreht, so floss von keinem der Auffänger Elektrizität ab. Die Versuche gestatten nicht ein Gesetz für die Abhängigkeit der Sekundärstrahlung von der Emmissionsrichtung zu finden. Die Aufstellung eines solchen Gesetzes hat bei einer so wenig durchdringenden Strahlung, wie es nach weiter unten anzuführenden Messungen die vorliegende ist, auch keinen Sinn, weil doch keine praktisch herstellbare Fläche für dieselbe als glatt anzusehen wäre. Indes nahm die Intensität der Sekundär-Strahlenströme von der Normalen der Platte aus nach beiden Seiten, zuerst sehr langsam, ab, und bei sehr schiefer Ausstrahlungsrichtung war die Intensität sehr klein. Eine Bevorzugung der Seite der spiegelnden Reflexion war nicht nachzuweisen und auch trotz der Hochglanzpolitur der Platte kaum zu erwarten, weil für solche Vorgänge jede Platte noch rauh ist.

Aluminium als Reflektor gab weit grössere negative Ausschläge als Kupfer. Bei Benutzung von Kupfer trat bei relativ niedriger Spannung (ca. 1 mm Funkenlänge = 4800 Volt) in den Auffängern ein positiver Strom, nur ein bis zwei Skt., aber ganz sicher, auf; ich will diesen Vorgang im Gegensatz zur negativen Sekundärstrahlung als Reflexion der Kanalstrahlen bezeichnen, ohne über seinen Mechanismus damit etwas aussagen zu wollen.

Einfluss des Einfallswinkels.

Wurde die drehbare Platte p durch ein Galvanometer abgeleitet, so floss im Falle des Aluminiums durch p bei schiefer Stellung ein positiver Strom zur Erde, der viel grösser (oft über doppelt so gross) war, als derjenige bei senkrechtem Einfall der Kanalstrahlen; dabei war aber der einfallende Kanalstrahlenstrom in beiden Stellungen der gleiche, indem in beiden Fällen das ganze Bündel die Platte traf. Die negative Sekundärstrahlung war also bei schiefem Einfall viel grösser. Bei Kupfer dagegen war die Zunahme der Strahlung durch schiefen Einfall nur schwach, sie betrug nur einige Prozent des gesamten abfliessenden positiven Stromes. Ich teile hier einige Belege für dieses Verhalten, das weiter unten erklärt werden wird, mit:

	Winkel zwischen Einfallslot und Kanalstrahlenrichtung	Stromstärke in willkürlichen Einheiten
Aluminium	0°	58
	65°	134
Kupfer	0°	73
	65°	78

Quantitative Messung der Sekundärstrahlung verschiedener Metalle in reinem Wasserstoff.

Die folgenden Versuche sollten einerseits die Sekundärstrahlung möglichst sicher stellen, andrerseits Werte für ihren Gesamtbetrag bei verschiedenen reinen Metallen in Wasserstoff liefern Die benutzte Röhre zeigt Fig. 2. a ist eine Anode aus Aluminiumdraht, die mit der Influenzmaschine verbunden wird, deren anderer Pol geerdet ist. Die durch ein Galvanometer zur Erde abgeleitete Kathode k besteht wie der Auffangzylinder z aus Kupfer, um Voltaeffekte zwischen beiden zu vermeiden. Die Kathode k ist vorn mit einer in der Mitte durchbohrten Aluminiumscheibe versehen, um Zerstäubung zu verhindern; das Loch ist bei d mit einem Aluminiumdrahtnetz von 0,2 mm Maschenweite verschlossen.

Der Raum zwischen Kathode und Glas ist mit dünnem Kupferblech sehr gut ausgefüllt. Deshalb können auch bei hohen Spannungen keine Entladungen in den Raum hinter der Kathode kommen. Die Scheibe f ist in dem Lager l drehbar und steht an dieser Stelle mit dem Zylinder z in metallischem Kontakt. Gedreht wird sie von aussen durch einen Magneten mittelst des Eisenstückes e. Die Scheibe ist in sechs Sektoren geteilt, von denen fünf mit verschiedenen Metallen belegt sind und einer ausgeschnitten ist. Das 46 mm lange Röhrchen r reicht bis an das Loch des Zylinders z heran, so dass die zwischen dem Ende des Röhrchens und dem Loch durch die Kanalstrahlen gebildeten Ionen nicht viel stören können. Die Röhre ist bei k aussen mit abgeleitetem Stanniol belegt, um das Überkriechen von Elektrizität von der Anode nach der Galvanometerleitung zu verhindern. Der Gesamtstrom, welchen Scheibe f und Zylinder z erhielten, wurde mit einem D'Arsonval-Galvanometer gemessen. Fielen nun Kanalstrahlen durch das Loch und das Röhrchen in den Zylinder z und zwar die Scheibe so gedreht, dass sich ihr Loch mit dem Loche des Zylieders deckte, so konnten die am Ende des Zylinders entstehenden diffusen Sekundärstrahlen bezw. die reflektierten Kanalstrahlen den Zylinder nur zum kleinsten Teile durch das Loch verlassen. Man erhielt also so die wirkliche Stromstärke der Kanalstrahlen. War dagegen ein Metall vor das Loch gedreht, so verliessen, da die Metalle vom Loche des Zylinders nur ca. $^1/_2$ mm abstanden, die Sekundär- und reflektierten Strahlen den Zylinder. Die Differenz beider Stromstärken ist also gleich der algebraischen Summe der Sekundär- und reflektierten Strahlen. Auf Reinheit des Gases und der Metalle wurde die äusserste Sorgfalt verwendet. Da nach Versuchen von W. Wien

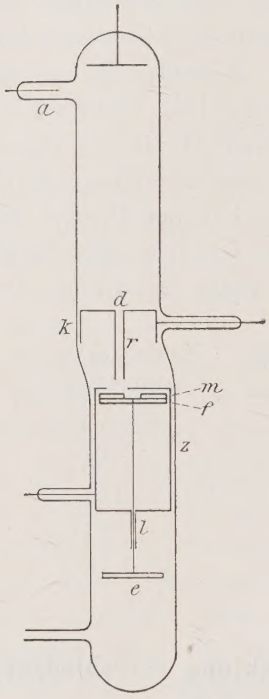


Fig. 2.

die Kanalstrahlen selbst in reinem Sauerstoff noch zum Teil aus Wasserstoff bestehen, so wurde Wasserstoff gewählt. Er wurde elektrolytisch aus reinster Phosphorsäure entwickelt, getrocknet und konnte durch ein in die Rohrleitung eingeschmolzenes, innen offenes und aussen geschlossenes Platinröhrchen ganz rein und sehr fein regulierbar eingelassen werden, indem man das Röhrchen elektrisch glühte. Die Metalle waren „Mercks garantiert reinen Reagenzien" entnommen und unter Vermeidung von Poliermitteln mit feinen, jedesmal frischen Feilen glatt gemacht. Denn Poliermittel bewirken auf Metallen Verunreinigung[1]). Eine zurückbleibende geringe Rauhigkeit schadet dagegen nicht viel. Das Platin war chemisch reines von Heraeus und wurde nur ausgeglüht, nicht poliert. Von der Quecksilberpumpe aus folgte zuerst ein Phosphor-Pentoxydrohr zum Vortrocknen. Dann ein dicht mit Blattgold gestopftes Rohr wegen der Quecksilberdämpfe, dann ein das Platinröhrchen enthaltendes Glasrohr, hierauf die Entladungsröhre und zwar ihr spannungsfreier Teil, so dass die lästigen Entladungen nach der Pumpe ausblieben. Um nun die Gasreste und besonders die Wasserhaut von den Metallteilen zu entfernen, wurde die Röhre in einem Ofen 25 Tage lang auf 250—300° erhitzt und dabei abwechselnd ausgepumpt und trockener Wasserstoff eingelassen. Da während des Erkaltens bis zum Beginnen der Versuche das vorher eingelassene Gas teilweise ausgepumpt wurde, war besonders bei den ersten Versuchen Verunreinigung der Metalle durch Quecksilber sicher ausgeschlossen. Der Wasserstoff strömte ja bei der getroffenen Anordnung stets von der Versuchsröhre weg durch das mit Gold beschickte Absorptionsrohr, so dass er der Röhre keinen Quecksilberdampf zuführen konnte.

Ein wenn auch unwahrscheinlicher Einwand wäre der, dass ein Voltaeffekt in dem durch die Kanalstrahlen gut leitend gemachten Gase die gefundenen Ströme hervorrufen könnte. Da alles aus Kupfer war und dennoch, auch wenn Kupfer vor das Loch gedreht war, ein starker Effekt vorhanden war, müsste es sich um einen durch Polarisation enstandenen Voltaeffekt handeln.

---

1) Vgl. P. Drude, Wied. Ann. 39, 481 (1890).

Dagegen spricht zunächst schon das qualitativ übereinstimmende Ergebnis der Versuche mit Luft und mit Wasserstoff; denn es ist doch unwahrscheinlich, dass Sauerstoff und Wasserstoff den Metallen die gleiche (einem negativen Strom entsprechende) Polarisation gegenüber dem umgebenden Metall erteilen könnte. Ferner wurde zur Ausschliessung des Voltaeffekts die Erfahrung von Greinacher[1]) benutzt, dass der Voltaeffekt bei allen Metallen mit Ausnahme von Platin und Silber, durch Vertreiben der Wasserhaut fast zum Verschwinden gebracht wird. Trotzdem zeigte sich nach der angewandten äusserst energischen Trocknung und Erhitzung die Sekundärstrahlung bei den verschiedenen Metallen von gleicher Grössenordnung und auch von gleicher Stärke wie vorher in der nicht getrockneten Röhre. Ein Voltaeffekt kann deshalb die Versuchsresultate nicht entstellt haben, namentlich könnte er das verschiedene Vorzeichen der Strahlung eines und desselben Metalles bei verschiedener Entladungsspannung nicht erklären.

Eine nicht sehr beträchtliche Fehlerquelle bei quantitativen Messungen liegt darin, dass die durch das Loch ausgetretenen Sekundär- und reflektierten Strahlen, welche von der Rückwand der Kathode aufgenommen werden sollen, auf dem Wege mehrfacher Reflexionen teilweise wieder dem Zylinder z zugeführt werden können. Allein die negativen Sekundärstrahlen werden bei ihrer geringen Geschwindigkeit (vgl. weiter unten) nach Lenard keine nennenswerte Sekundärstrahlung erregen. Jedenfalls kann der Vergleich des Verhaltens der verschiedenen Metalle sowie verschiedener Kanalstrahlen-Geschwindigkeiten dadurch nicht beeinträchtigt werden.

Ergebnisse. a) Negative Sekundärstrahlung.

Die Ergebnisse, soweit sie die negative Sekundärstrahlung betreffen, habe ich in der Tabelle zusammengestellt. Die Versuchsreihen sind nach der Entladungsspannung, welcher die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen entspricht, geordnet. Sie wurde am Anfang und Ende jeder Reihe aus der Funkenlänge einer der

[1]) Ann. d. Phys. 16, 708 (1905).

Röhre parallel geschalteten Funkenstrecke mit Kugeln von 2,5 cm Radius bestimmt. Die Entladungsspannung wurde durch Veränderung des Gasdruckes variiert. Die Zahlen der ersten Abteilung sind so gewonnen: Die Differenz der bei vorgedrehtem Metall und vorgedrehtem Loch erhaltenen Ausschläge, also die negative Sekundärstrahlung des betreffenden Metalls, ist durch den Ausschlag für Loch (die Stromstärke der Kanalstrahlen) dividiert und mit 100 multipliziert. Die Sekundärstrahlung ist in der Tabelle stets negativ mit Ausnahme der letzten Zeile, wo die positve Reflexion durch Vorzeichen kenntlich gemacht ist. Jede Zahl ist das Mittel der drei oder vier im Lauf einer Versuchsreihe erhaltenen Werte. Um ein treues Bild zu geben, habe ich sämtliche Versuchsreihen, auch die am meisten vom Mittel abweichenden, in die Tabelle aufgenommen. In Anbetracht dessen erscheint die qualitative Übereinstimmung gut. Es ergibt sich: Bei höheren Spannungen (hohes Vakuum der Entladungsröhre) geben alle Metalle starke negative Sekundärstrahlung, welche die positive Reflexion völlig verdeckt, und zwar ist die Reihenfolge der Metalle die der Voltaschen Spannungsreihe. Dabei nehmen, Silber und Kupfer innerhalb der Versuchsgenauigkeit merklich den nämlichon Platz ein. Platin zeigt den kleinsten Wert, Zink ca. 170 %, Aluminium ca. 280—300 %; der gesamte vom Zylinder abfliessende Strom war also bei Aluminium das vierfache des Kanalstrahlenstroms. Die Reihenfolge der Metalle stimmt gerade bei den Versuchsreihen am vollständigsten mit der Voltaschen Spannungsreihe überein, die sich durch geringe Abweichung der einzelnen Werte vom Mittel (1 bis 3 %) als gut charakterisieren (z. B. Reihe 4). Auffallend sind die abweichenden Werte in der ersten beobachteten Versuchsreihe (Nr. 3). Ich halte es für möglich, dass z. B. auf Zink und Kupfer zuerst eine Oxydschicht vorhanden war, die dann durch die Wasserstoffkanalstrahlen reduziert wurde. Im übrigen halte ich folgende Erklärung für wahrscheinlich: Nach J. J. Thomson zerstäuben alle Metalle, wenn sie von Kanalstrahlen getroffen werden. Dadurch werden die Metalle offenbar gereinigt und deshalb geben sie erst bei den späteren Versuchen übereinstimmenne Werte. Diese späteren Werte sind also als die richtigen anzusehen.

Nr.	Funkenlänge mm	Volt	Prozent negative Sekundärstrahlung ohne Korrektion					Prozent positiver Reflexion mit Magnet [1]					Bemerkungen	Negative Sekundärstrahlung korrigiert wegen der positiven Reflexion		
			Pt	*Ag*	*Cu*	*Zn*	*Al*	*Pt*	*Ag*	*Cu*	*Zn*	*Al*		*Pt*	*Ag*	*Cu*
1	9,5	31 300	110	126	128	192	305	10	11,7	8,3			In den Reihen 1), 2) und 7) war das Magnetfeld am Loch stärker als bei den anderen Reihen. Dass dennoch die positive Reflexion nicht wesentlich stärker hervortrat, zeigt, dass der Magnet nicht mehr viel negative Strahlen übrig liess.			
2	7,5	26 000	80	96	92	155	250	10	11	8				120	137	136
3[2])	6,5	23 100	121	126	97	85	184						Erste ausgeführte Versuchsreihe. *Zn* und *Al* nehmen während der Versuche, mit einem abnorm niedrigen Wert beginnend, stark zu.			
4	6,0	21 600	62	77,5	83	163	274									
5	6,0	21 600	79	99	94	170	265	10,2	11	9	0	−4		89	110	103
6			86	103	110	193	303		7				Die nämliche Gasfüllung wie in der vorigen Reihe, aber Stromstärke nur $\frac{1}{2,4}$ der vorigen.		110	

7	5,5	20 000		88			302	11	11,5	5,5	− 4,5	−5,5	Die nämliche Gasfüllung wie bei beiden vorigen Reihen, Stromstärke zwischen beiden vorigen. Die Versuche mit Magnet stimmen in dieser Reihe sehr gut miteinander.		99,5	
8	6,0	21 600	65	86	94	174	286									
9	5,75	21 000	55	72	83	148	296									
10	5,7 — 5,0	21 000 — 18 300	55	70	74	135	302						Funkenlänge nimmt durch Verschlechterung des Vakuums von 5,7 bis 5,0 mm ab, ohne dass dabei die Werte der Sekundärstrahlung eine regelmässige Veränderung zeigen.			
11	4,5	15 900	99	88	90,5	187	222	7	10	6	0	0		106	98	96,5
12	4,2	15 000	78	71	74	160	198	14,5	16	15	4	−2	Die nämliche Gasfüllung wie vorhin, doch hat sich offenbar das Vakuum etwas verschlechtert. Der Strom ist 2,4 mal so gross wie vorhin.	92,5	87	89
13	3,5	12 900	31	50	29	102	196									
14	0,75	3900	+19	+7	+13	−18	−74									

[1]) Bei Zink und Aluminium ist den Zahlen dieser Spalte natürlich keine weitere Bedeutung beizumessen, als dass der Magnet die negative Strahlung praktisch aufhob.

[2]) Die Versuchsreihe 3 ist aus dem oben erörterten Grund als erste beobachtete unzuverlässig.

Nimmt die Spannung von 31000 Volt an ab, so ändern sich die Werte bis gegen 20000 nur wenig, von etwa 15000 an werden sie merklich kleiner und bei etwa 4000 Volt ist nur noch Zn und Al negativ, die edleren Metalle zeigen positive Reflexion, von der der folgende Abschnitt handelt. Ein Einfluss der Stromstärke des Kanalstrahlenstroms auf die prozentische Sekundärstrahlung bei Variation von 1 bis 2,4 wurde nicht bemerkt. Dies scheint die Möglichkeit auszuschliessen, dass die negative Emission durch Erhitzung oberflächlicher Schichten entstanden sein könnte.

b) Positive Reflexion.

Bei einigen Versuchsreihen der Tabelle versuchte ich, die negativen Sekundärstrahlen durch einen in der Ebene des Loches des Auffangzylinders z angebrachten Hufeisenmagneten (Kraftlinien also ungefähr senkrecht zur Emissionsrichtung) zum Zylinder zurückzubiegen. Die weiter unten angeführten Versuche zeigten, dass die hier angewandten Felder in der Tat stark genug waren, weil die sekundären Strahlen sehr langsam sind. Die reflektierten positiven Strahlen konnten nur unmerklich beeinflusst werden, zumal da ihre Geschwindigkeit von der Ordnung derjenigen der primären ist; dass ferner die Entladung durch den Magneten äusserst wenig geändert wurde, zeigt die meist nur sehr geringe (1 %) Änderung der Stärke sowohl des Entladungs- wie auch des Kanalstrahlenstromes. Das Ergebnis zeigt die zweite Abteilung der Tabelle: auch bei der höchsten Spannung zeigen nach Einschaltung des Magneten Pt Ag Cu positive Reflexion (etwa 10 % des Kanalstrahlenstromes), Al und Zn behalten einen sehr kleinen negativen Wert, also war bei ihnen der Magnet nicht stark genug. Die so gefundenen Werte der positiven Reflexion sind demnach nur untere Grenzen, zeigen aber doch, dass auch bei hohen Spannungen starke Reflexion der Kanalstrahlen stattfindet.

Endlich wurden noch zahlreiche Versuche bei niedrigen Entladungspotentialen (bis 580 Volt herab) mit einer Hochspannungsdynamo gemacht. Von 2500 Volt an abwärts sind alle Metalle ausser Aluminium positiv. Die Reflexion erreichte bei Pt Ag Cu

40—50% der einfallenden Kanalstrahlen und eine nur wenig davon verschiedene Höhe erreichte sie auch bei Al und Zn, als der Druck so hoch war, dass der Kathodendunkelraum nur noch 6,8 mm lang war (Spannung 645 Volt). Der Einfluss des Magneten war hier nur mehr unmerklich (unter 2%), es waren also, wie es scheint, den reflektierten Strahlen nicht mehr viel negative Sekundärstrahlen beigemischt. In den wenigen Versuchsreihen, wo Spannung und Stromstärke ohne Änderung des Druckes variiert wurden, wurde die Reflexion mit abnehmender Spannung stets kleiner. Es sieht also aus, als ginge die positive Reflexion durch ein Maximum, wenn man von hohen Spannungen (ca. 31000 Volt) zu niedrigen übergeht. Theoretisch wäre dies nicht unplausibel, weil bei sehr hoher Spannung die Kanalstrahlen zu tief eindringen werden, bei zu kleiner Geschwindigkeit der einfallenden Strahlen würden die reflektierten zu wenig Energie haben, um wieder herauszukommen. Doch habe ich bei den Versuchen über positive Reflexion die verschiedenen Einflüsse nicht so weit trennen können, um sicheres über ihre Abhängigkeit von Spannung und Druck auszusagen. Ich teile deshalb keine Zahlen mit. Die einzelnen Versuchsreihen, auf die sich die vorstehenden Behauptungen stützen, sind aber sehr sicher, die Abweichung der Zahlen vom Mittel sehr klein (1—2%).

Schlussfolgerungen.

Da im Glimmstrom Kanalstrahlen die Kathode treffen, muss die gefundene negative Sekundärstrahlung einen grossen Einfluss auf den Kathodenfall haben, der ja dadurch zustande kommt, dass der Strom der Partie vor der Kathode negative Ionen entzieht. In der Tat geht die mitgeteilte Reihenfolge der verschiedenen Metalle mit dem normalen Kathodenfall im ganzen parallel, indem das Metall mit kleinstem Kathodenfall (von den untersuchten) grösste negative Sekundärstrahlung zeigte. Eine genauere Anwendung auf den Glimmstrom kann erst gegeben werden, wenn die Abhängigkeit der Sekundärstrahlung von der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen bei kleinen Spannungen, wie sie beim normalen Kathodenfall vorliegen, untersucht ist.

Durch diese Beobachtungen erfahren viele Messungen von Stromstärken von Kanalstrahlen eine entsprechende Modifikation. Nimmt man an, dass auch die den Kanalstrahlen beigemischten neutralisierten Ionen negative Sekundärstrahlung am Metall erzeugen, so kann man die von W. Wien gefundene Tatsache erklären, dass die nicht ablenkbaren Kanalstrahlen einer Platte positive Elektrizität zuführen.

Bestimmung der Geschwindigkeit der von Kanalstrahlen erzeugten Sekundärstrahlen.

Zur Charakterisierung der Sekundärstrahlen erschien am wichtigsten die Geschwindigkeit, mit der sie das Metall verlassen[1]). Die dazu benutzte Entladungsröhre zeigt die schematische Fig. 3.

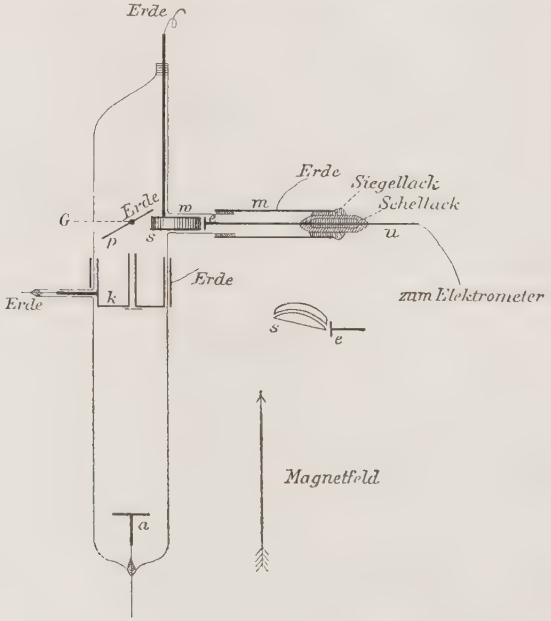


Fig. 3.

a ist die Anode, k die mit der Erde verbundene Kathode. An letztere ist ein vorn mit Aluminiumnetz (Maschenweite $^1/_5$ mm)

[1]) Vgl. Chr. Füchtbauer, Phys. Zeitschr. 7, 748 (1906).
Verh. d. VIII. phys. Ges., 394 (1906).

verschlossenes Röhrchen angelötet, damit der Raum hinter der Kathode möglichst vor elektrischen Kräften geschützt ist. Durch das Röhrchen fallen die Kanalstrahlen auf die zur Erde abgeleitete Platte p. Sie ist mittelst eines Schiffes (mit Teilkreis) um eine zur Zeichnungsebene senkrechte Achse drehbar. Befand sich nun das Ganze in einem der Röhre parallelen Magnetfelde, so mussten diejenigen unter den von der Platte kommenden negativen Sekundärstrahlen, welche in einer durch die Gerade G gehenden, auf der Zeichnung senkrecht stehenden Ebene verliefen, zu einem Kreise gebogen werden. Diese Kreisbahn wurde den Strahlen vorgeschrieben. Dazu wurde statt der ursprünglich geplanten Diaphragmen nach dem Vorgang von Harms der kreisförmige Kanal s (von rechteckigem Querschnitt) benutzt, weil ein solcher viel leichter präzis anzufertigen ist. Er wölbt sich aus der Ebene der Zeichnung nach vorn heraus. Ein durch die Gerade g senkrecht zur Zeichnung geführter Schnitt ist daneben abgebildet. Die Länge des Kanals, in der Sehne gemessen, war 23 mm, der Radius 20,8 mm, die Breite 4 mm, die Höhe 1,2 mm; zu grosse Höhe hätte nämlich die Genauigkeit der Messung vermindert. Vor dem Ende des Kanals befand sich die kleine Auffangplatte e. Ihr Stiel u war mit dem Elektrometer verbunden; er war gut isoliert in das zur Erde abgeleitete Metallrohr m eingekittet. Dieses war über den Glasansatz w gekittet, um ein Überkriechen der Elektrizität von der Röhre zum Elektrometer zu verhindern. Auch über der Kathode ist das Glasrohr mit einem geerdeten Schutzring aus Stanniol beklebt. Alle Glasteile im spannungsfreien Teil der Röhre sind zur Verhütung von Ladung durch die Kanalstrahlen mit abgeleitetem Metall ausgekleidet. Der Raum zwischen dem kreisförmigen Kanal und dem Glasansatz w ist mit Stanniol ausgestopft.

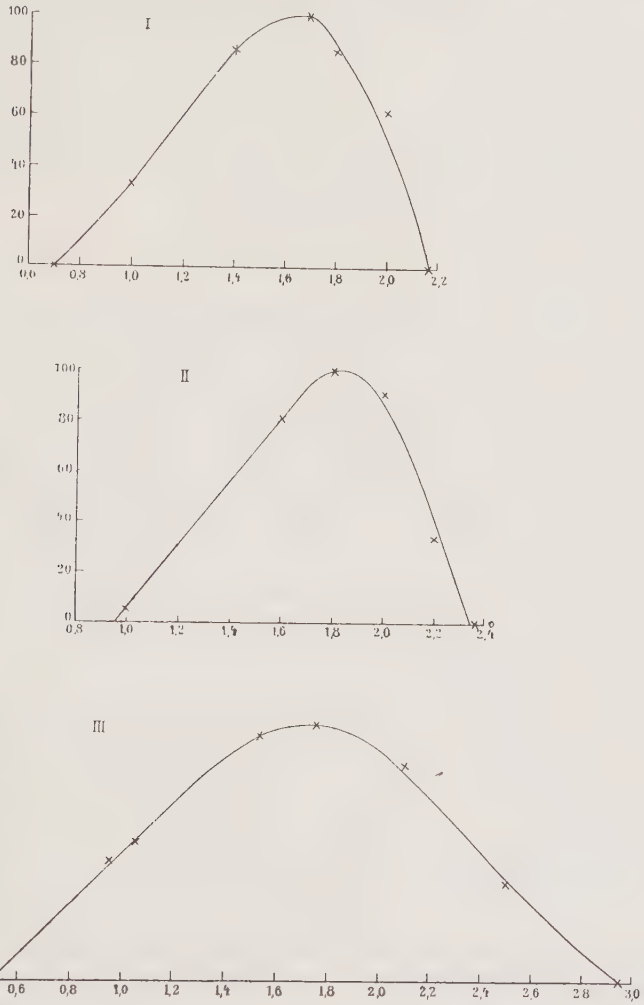
Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt: Den sehr konstanten Strom 0,1 bis 0,2 Milliampère) lieferte eine Influenzmaschine. Das homogene Magnetfeld wurde erhalten durch zwei grosse 30 cm weite Spulen, die über die ganze Röhre samt Ansatz so geschoben wurden, dass ihre Achse der Röhrenachse parallel war. Das Feld war der Stromstärke proportional und wurde nachher für eine Stromstärke mit dem Bifilargalvanometer

gemessen. Die erforderlichen schwachen und noch dazu der Entladungsbahn parallelen Felder beeinflussten die Entladung nicht merklich, was durch Messung des von der Platte p abfliessenden Kanalstrahlenstromes mit dem Galvanometer kontrolliert wurde.

Wurde nun die Erdleitung des Elektrometers aufgehoben, so erhielt es im allgemeinen einen positiven Strom; das erklärt sich so: Die Kanalstrahlen ionisieren das Gas und diese Ionen diffundieren durch den kreisförmigen Kanal nach dem Auffänger e. Da aber die negativen Ionen im Kanal stärker durch Adsorption vermindert werden als die positiven, so kommen mehr positive hindurch. Variiert man nun das Magnetfeld nach Grösse und Richtung, so findet man ein Gebiet, in dem der Elektrometerstrom negativ wird, und man findet für diesen negativen Strom ein auf 10 bis 15% bestimmbares Maximum. Die Feldstärke, für die dieses Maximum auftritt, entspricht der Geschwindigkeit der grössten Menge der Sekundärstrahlen.

Die Hauptresultate sind: Das Magnetfeld, bei dem die meisten Elektronen durch den kreisförmigen Kanal hindurchflogen, betrug 8,1 bis 9,0 abs. Einheiten für Platin. Dem entspricht eine Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen von $3{,}2 \cdot 10^8$ bis $3{,}6 \cdot 10^8 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$, dies entspräche Kathodenstrahlen, die bei einer Elektrodenspannung von 27 bis 34 Volt entstünden, also sehr langsamen. Besonders merkwürdig ist die Tatsache, dass die Geschwindigkeit der grössten Menge unabhängig ist von der Geschwindigkeit der einfallenden Kanalstrahlen; sie nimmt nämlich höchstens um 10% ab, wenn die Entladungsspannung von 21 000 auf 4500 Volt vermindert wird. Ferner ist die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen unabhängig vom angewandten Gas (versucht wurden Wasserstoff und Luft) und unabhängig vom Einfallswinkel. (Die Menge der Strahlen wächst, wie wir sahen, stark mit dem Einfallswinkel.) Das Maximum fiel nach der Seite grösserer Geschwindigkeit bedeutend steiler ab als nach der andern. Z. B. wurde in einem Fall bei Aluminium in Luft der Strom, den das Elektrometer erhielt, Null, wenn man das Magnetfeld um nur 30% verstärkte oder auf $^1/_3$ verminderte, Zahlen, die natürlich keine quantitative Bedeutung

haben. Die Art des Abfalls in verschiedenen Fällen zeigen die nebenstehenden Kurven (Fig. 4). Um einen bessern Vergleich



Kurve I. Kanalstrahlen auf Aluminiden in Luft. Entladungsspannung 5150 Volt.
Kurve II. Kanalstrahlen auf Platin in Luft. 8900 Volt.
Kurve III. Kanalstrahlen auf Platin in Wasserstoff. 18 300 Volt.

Fig. 4.

verschiedener Kurven zu ermöglichen, sind die grössten Ordinaten überall gleich 100 gesetzt, d. h. als Ordinaten sind die zum Elektrometer abfliessenden, von den negativen Sekundärstrahlen ge-

bildeten Ströme in Prozenten des grössten Stromes gewählt. Die Abszissen sind die Stromstärken des Magnetisierungsstromes, denen ja die Geschwindigkeiten proportional sind. In der Art des Abfalles zeigt ein und dasselbe Metall bei verschiedener Gasfüllung Verschiedenheiten, trotz übereinstimmender Geschwindigkeit der grössten Menge der Strahlen. (Vgl. Kurve II und III, die sich beide auf Platin beziehen.) Bei Aluminium in Luft schien das Maximum 10 bis 12% tiefer zu liegen als bei Platin, doch ist das nicht weit von der Fehlergrenze.

Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen von Kathodenstrahlen.

Der gleiche Apparat diente zur Messung der Geschwindigkeit der von Kathodenstrahlen erzeugten Sekundärstrahlen. Das erforderliche schwache Magnetfeld beeinflusste das ihm parallele primäre Kathodenstrahlenbündel nicht merklich. Der Effekt von Austin und Starke[1]) war an der Platte sehr deutlich, d. h. es floss bei schiefem Einfall durch Platin ein positiver Strom ab statt des negativen. Der Elektrometerstrom aber war auch hier im allgemeinen positiv und zeigte ein negatives Gebiet mit scharfem Maximum. Merkwürdigerweise war die Geschwindigkeit der von Kathodenstrahlen erzeugten Sekundärstrahlen wieder die nämliche wie bei den durch Kanalstrahlen erzeugten. Sie war wieder unabhängig von der Geschwindigkeit der einfallenden Kathodenstrahlen (geprüft zwischen 4400 und 19200 Volt bei Aluminium in Luft). Die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen war die gleiche bei Platin und Aluminium, sowie unabhängig vom Einfallswinkel, während die Menge bei Aluminium viel kleiner ist als bei Platin, sowie bei steilem Einfall viel kleiner als bei schiefem. Wurde nun im Falle der Kathodenstrahlen das Magnetfeld vom Maximum ausgehend verstärkt, so wurde der Strom zum Elektrometer zunächst wieder positiv, bei noch stärkeren Feldern aber wieder negativ. Diese Felder entsprachen Geschwindigkeiten, die von der Grössenordnung derjenigen der einfallenden Kathodenstrahlen, wenn auch etwas

[1]) Ann. d. Phys. 9, 271 (1902).

kleiner als diese, waren. Zu genauer Messung bei so grosser Feldstärke war der Apparat natürlich nicht geeignet, doch ist damit das Vorhandensein einer Lücke zwischen langsamen sekundären und schnellen „reflektierten“ Kathodenstrahlen nachgewiesen.

Allgemeine Betrachtungen über Sekundärstrahlengeschwindigkeiten.

Das Auftreten der nämlichen Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen unter so verschiedenen Bedingungen legt den Gedanken an eine gemeinsame Ursache nahe. Die von mir schon loc. cit. als weniger wahrscheinlich bezeichnete Möglichkeit, dass diese Ursache das im Kanal- und Kathodenstrahlenbündel erzeugte ultraviolette Licht sein könnte, wird durch die folgende Beobachtung ziemlich unplausibel: Die negative Sekundärstrahlung der Kanalstrahlen zeigte sich bei ganz niedrigen Gasdrucken, bei denen das Leuchten bereits sehr schwach war, am kräftigsten. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass die Elektronen durch Kanal- und Kathodenstrahlen ausgelöst werden, ihre Geschwindigkeit also durch die Energie der Metallatome bedingt ist. Dabei ist dem Einfluss der Absorption Rechnung zu tragen. Ist nämlich obige Erklärung richtig, so muss nur die bei einem und demselben Metall auftretende Maximalgeschwindigkeit unabhängig sein von der Geschwindigkeit der primären Strahlen, von dem Umstand, ob es Kanal- oder Kathodenstrahlen sind, und im Fall ersterer von dem Gas, aus dem die Kanalstrahlen bestehen. Dagegen können kleinere Geschwindigkeiten auch beim nämlichen Metall in der Sekundärstrahlung je nach der Art der Erzeugung in wechselnder Menge vertreten sein. Die ursprünglich dem Zerfall des Atoms in positives Ion und negatives Elektron entsprechende Geschwindigkeit des letzteren wird nämlich beim Durchgang durch das Metall vermindert werden, und zwar hängt die Verteilung der Geschwindigkeiten ab sowohl vom Einfluss des betreffenden Metalls auf die Sekundärstrahlung, wie auch vom Absorptionskoeffizienten des Metalls für die einfallenden Strahlen.

Je schwächer das Metall die primären absorbiert, je tiefer sie also eindringen, desto stärker unterliegen die sekundären Strahlen der Verzögerung durch das Metall.

Da aber die Strahlung so absorbierbar ist, so werden die Strahlen der grössten Geschwindigkeit am zahlreichsten herauskommen, und da diese Geschwindigkeit für ein bestimmtes Metall eine Konstante ist, so müssen die meisten Strahlen für verschiedene Erregungsarten bei dem nämlichen Metall nahezu gleiche Geschwindigkeit kaben.

In der Tat bestätigen die oben angeführten Versuche diese beiden Folgerungen, indem bei gleicher Lage des Maximums, das nach der Seite grösserer Geschwindigkeiten recht scharf war, langsamere Strahlen in verschiedenen Fällen in sehr verschiedener Menge vertreten waren. Daraus, dass nicht nur bei verschiedenen Primärstrahlen, sondern auch bei verschiedenen Metallen die Geschwindigkeit der Hauptmenge nahezu die gleiche war, ist zu schliessen, dass auch die wirkliche Geschwindigkeit der von den Atomen abgeschleuderten Elektronen in diesen Fällen die gleiche ist; wir haben ja angenommen, dass die letztere von der beobachteten Geschwindigkeit der Hauptmenge der das Metall tatsächlich verlassenden Elektronen nicht sehr abweicht[1]).

Die Hypothese, dass die Geschwindigkeit von Sekundärstrahlen aus der Energie der Atome herstammen soll, stellte zuerst W. Wien für die Röntgenstrahlen-Sekundärstrahlen auf. Dazu nötigte ihn die grosse Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen, die ihre Energie nicht aus einem Impuls beziehen konnten. Also bei den Röntgenstrahlen muss die Geschwindigkeit der Strahlung der Atome zum Teil gross, bei Kanal- und Kathodenstrahlen nach meinen Versuchen gleich und klein[2]) angenommen werden. (Den Kanalstrahlen reihen sich, wie weiter unten ausgeführt ist, noch die α-Strahlen der radioaktiven Elemente als Erreger von Sekundärstrahlen an.) Die beiden Fälle müssen also, obwohl beide Aus-

[1]) Das Vorkommen der wenn auch nur wenig grösseren Geschwindigkeiten jenseits des Maximums bedarf noch der Aufklärung. Vielleicht hat es seinen Grund in der Versuchsanordnung (Breite des Spaltes).

[2]) Soweit die Methode reicht, ausschliesslich klein bei den Kanalstrahlen.

lösungen sind, als ganz verschiedene Vorgänge betrachtet werden, durch Röntgenstrahlen einerseits und Kanal- sowie Kathodenstrahlen andrerseits müssen verschiedene Elektronen abgespalten werden. Den letzteren Fall halte ich vorläufig für identisch mit der Ionisation von Gasen durch Kanal- und Kathodenstrahlen. Lenard fand ja, dass die Ionisation eines Gases durch Kathodenstrahlen sich auf dem Weg der Bildung sehr langsamer Sekundärstrahlen vollzieht, und das gleiche geschieht nach meiner Auffassung mit dem Atom des festen Körpers. Doch müssen erst weitere Versuche die Sachlage klären, bis dahin können obige Hypothesen nur mit allem Vorbehalt geäussert werden [1]).

Einfluss der Absorption auf die Menge der Sekundärstrahlen.

Ähnlich wie die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen durch die Absorption der primären und durch die Verzögerung der sekundären Strahlen im Metall beeinflusst wird, wird auch die Menge der sekundären durch die Asorption der primären und die Absorption der sekundären Strahlen bestimmt. Je tiefer die primären eindringen, desto mehr unterliegen die sekundären der Absorption. So erklärt sich auch die oben gefundene starke Vergrösserung der Emission durch schiefe Incidenz der Kanalstrahlen: Je schiefer sie auffallen, in um so oberflächlicheren Schichten werden sie absorbiert, und um so leichter kommen die Sekundärstrahlen, die ja bei ihrer geringen Geschwindigkeit sehr absorbierbar sind, heraus. Die Konsequenzen dieser Auffassung stimmen mit den Tatsachen überein: Nur Aluminium zeigt, wie oben erwähnt, eine starke Zunahme bei schiefer Stellung, weil hier die Kanalstrahlen merklich

[1]) Es ist denkbar, dass die Bildung der bei den Röntgenstrahlen auch vorhandenen langsamen Sekundärstrahlen eine erste Dissoziation vorstellt und der Erscheinung bei Kanal- und Kathodenstrahlen analog ist. Die Bildung der schnellen Sekundärstrahlen wäre dann eine 2. Dissoziation die zum 2wertigen positiven Rest führt. Jedenfalls rührt die Inhomogenität der Röntgensekundärstrahlung vom tiefen Eindringen der Röntgenstrahlen her, indem die Sekundärstrahlen bei Durchdringen des Metalls grosse Geschwindigkeitsverluste erleiden.

tiefer eindringen, als beim Kupfer. Bei der Sekundärstrahlung der Kathodenstrahlen aber, die viel tiefer eindringen als Kanalstrahlen, wird nachweisbare Sekundärstrahlung überhaupt nur bei schiefer Incidenz erhalten und zwar ist um so geringere Schiefe nötig, je stärker das Metall Kathodenstrahlen absorbiert.

Erzeugen Kanalstrahlen Röntgenstrahlen?

Es ist zu erwarten, dass bei der Bremsung der Kanalstrahlen durch ein Metall Röntgenstrahlen entstehen und zwar sehr wenig durchdringende. Ich versuchte, diese auf photographischem Wege nachzuweisen mit folgender Anordnung (Fig. 5): a ist die Anode, k ist die Kathode. Die Kanalstrahlen, durch eine zwanzigplattige Influenzmaschine erzeugt, fielen nach 6 cm langem Weg auf die Aluminiumscheibe s; diese war zur Erde abgeleitet und unter 45° zur Strahlenrichtung geneigt. In einem seitlichen Ansatz sass eine Messingbüchse m. Ihr vorderer Deckel, in dem nur ein Messingkreuz stehen gelassen war, wurde mit drei Aluminiumfolien von je 0,78 μ Dicke überklebt. Im hinteren Boden der Büchse befanden sich 2 Luftlöcher, um zu verhindern, dass der Luftdruck die Folien beim Auspumpen zerrisse. Um das Eindringen von Licht zu vermeiden, kommunizierten die Löcher durch 3 cm lange, geschwärzte und gebogene Röhrchen r mit der Entladungsröhre. Die Büchse sass auf einem in dem Schliff t eingekitteten Stiel; so konnten leicht Films eingelegt werden. Es wurden Agfa-Planfilms verwendet.

Kathode k, Scheibe s und Stiel e, waren mit der Erde verbunden, ebenso der negative Pol der Influenzmaschine. Zwischen Scheibe s und Kathode war ein Elektromagnet u angebracht von solcher Stärke, dass die Entladung eben noch regelmässig war. Er hatte den Zweck, die etwa am gegenüberliegenden (übrigens 50 cm entfernten) Ende der Röhre reflektierten Kothodenstrahlen von der Scheibe s abzuhalten, weil sie dort Röntgenstrahlen erzeugt hätten. Nun wurde nach dem Einlegen des Films bis zu genügendem Vakuum ausgepumpt. Dann liess ich sechs Stunden lang bei einer Spannung von meistens 4200 Volt Kanalstrahlen auf die Platte s fallen. Nach dem Entwickeln zeigte

sich das völlig durchsichtige Bild des Messingkreuzes auf stark und gleichmässig geschwärztem Grund. Da keine Spur der zwei Löcher zu sehen war, waren diese unschädlich. Es scheint deshalb, dass sehr absorbierbare Röntgenstrahlen durch die Kanal-

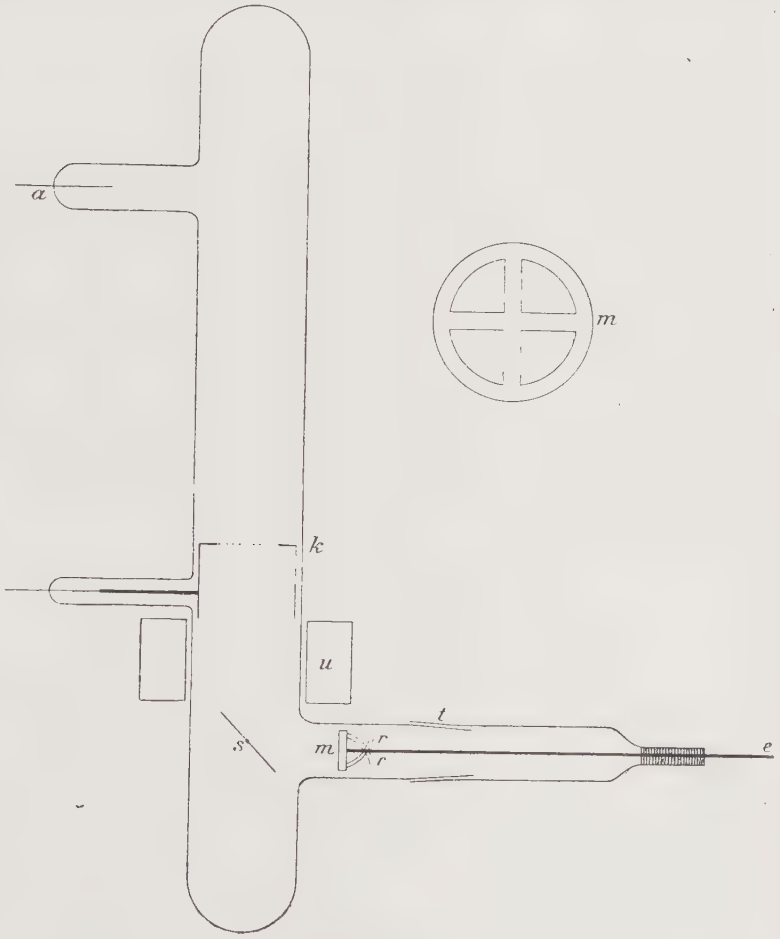


Fig. 5.

strahlen erzeugt waren. Sehr absorbierbar müssen sie sein, weil Herr Professor W. Wien, einer freundlichen persönlichen Mitteilung zufolge, bei folgendem Versuch ein negatives Resultat erhalten hatte: Um zu prüfen, ob die von Kanalstrahlen erzeugten Strahlen durch Aluminiumfolie gehen, liess er sie auf etwas dickere

Aluminiumfolie (Lenardsche) fallen und sah nach, ob auf der andern Seite mit dem Elektrometer oder photographisch etwas nachzuweisen sei. Das Resultat war negativ. Hierbei hätten wohl auch durchdringendere Röntgenstrahlen entdeckt werden müssen, wenn solche von Kanalstrahlen erzeugt würden, desgleichen auch schnelle Kathodenstrahlen, wenn solche etwa den langsamen Sekundärstrahlen in geringerer Zahl beigemischt wären. Die sekundären Kuthodenstrahlen aber, welche von der Scheibe s ausgehen, können aber die Schwärzung nicht bewirkt haben. Denn sie hätten die 2,3 μ dicke Schicht Aluminium bei ihrer Langsamkeit sicher nicht durchdrungen. Also bleiben nur sehr weiche Röntgenstrahlen übrig. Eine Fehlerquelle ist nicht absolut ausgeschlossen. Ich hatte keine ganz lochfreie Aluminiumfolie von so geringer Dicke, wie ich sie brauchte. Es ist daher nicht ganz undenkbar, dass reflektierte Kanalstrahlen oder Sekundärstrahlen mittelst der Löcher selbst durch drei Folien auf dem Wege mehrfacher Reflexionen hindurch gelangt wären, obwohl die Löcher so gut verdeckt waren, dass der Film beim mehrstündigen Exponieren am Tageslicht in der Büchse nicht geschwärzt wurde.

Sekundärstrahlen der α-Strahlen.

J. J. Thomson[1]) fand gelegentlich des Versuchs, die positive Ladung der α-Strahlen des Radiotellurs nachzuweisen, dass das Präparat eine sehr grosse Menge langsamer negativer Strahlen aussandte. Es sind offenbar die Sekundärstrahlen, welche die α-Strahlen in dem Präparat selbst erzeugen. Rutherford[2]) fand, dass auch Radium eine langsame negative Strahlung aussendet, deren Menge bis zu 20mal so gross sein kann wie die der α-Strahlen. Ist dies richtig, so würde die grosse Menge wohl von der sehr grossen Geschwindigkeit der α-Strahlen im Vergleich mit den Kanalstrahlen herrühren. Rutherford stellte gleichzeitig fest, dass Metalle unter der Wirkung der α-Strahlen ebenfalls eine solche langsame negative Strahlung aussenden. Damit ist die Annahme, dass die langsame negative Strahlung der radioaktiven

1) Proc. Camb. Phil. Soc. Nov. 14, 1904.
2) Phil. Mag. 10, 193. 1905.

Stoffe in der Tat eine solche Sekundärstrahlung ist, so wahrscheinlich gemacht, dass ich sie im folgenden zu grunde lege.

Die Geschwindigkeit solcher langsamer negativer Strahlen, die ein mit Polonium überzogenes Kupferblech aussendet, bestimmte P. Ewers[1]) durch magnetische Ablenkung. Er fand $3{,}25 \cdot 10^8 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$, entsprechend ca. 30 Volt, also ganz den gleichen Wert, den ich bei den Sekundärstrahlen der Kanalstrahlen fand. Ich möchte auf diese Übereinstimmung besonders hinweisen; denn damit erscheint die von mir festgestellte Tatsache, dass die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen von der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen unabhängig ist, über ein sehr grosses Gebiet von Primärgeschwindigkeiten (bis zu $1{,}5 \cdot 10^9$, der Geschwindigkeit der α-Strahlen des Poloniums) ausgedehnt. Es wird damit meine Vermutung, dass die Geschwindigkeit aus der Energie des Atomes stammt, sehr gestützt; immer vorausgesetzt, dass die langsame Radiumstrahlung wirklich eine Sekundärstrahlung der α-Strahlen ist.

Ich erwähne, dass jüngst Logeman[2]) aus Versuchen über die Sekundärstrahlung der α-Strahlen (Sättigungsstrom) schloss, dass die Geschwindigkeit nicht grösser als 10 Volt sei. Vorläufig halte ich es aber für möglich, dass hierbei Gasionen störten, und sehe deshalb zunächst die magnetischen Versuche von Ewers für sicherer an.

Bestätigung meiner Resultate durch andere Arbeiten.

I. I. Thomson[3]) hat gleichfalls die Ansicht ausgesprochen, dass die Kathodenstrahlen durch den Anprall der Kanalstrahlen an die Kathode erzeugt wurden, und dass die Kanalstrahlen auf einem Metall Sekundärstrahlen hervorriefen. Er glaubt einen Beweis dafür darin zu finden, dass von einer den Kanalstrahlen ausgesetzten Platte ein leuchtendes Bündel ausgeht, wenn man sie negativ auf 80 Volt lädt.

---

1) Phys. Zeitschr. 7, 148. 1906.
2) Proc. Roy. Soc. (A) 78, 212 (1906).
3) Cambr. Proc. 13, 212 (1906).

Austin[1]) hat später in einwandfreier Weise mehrere meiner Resultate bestätigt, indem er den durch einen mit Loch versehenen Zylinder abfliessenden Kanalstrahlenstrom verglich mit dem durch eine Platte fliessenden. Er fand gleichfalls negative Strahlung und positive Reflexion sowie den grossen Einfluss des Einfallswinkels. Dagegen glaubt er Teilchen von den langsamsten an, bis zu sehr schnellen annehmen zu müssen. Da seine Versuche aber nur durch Annäherung eines Hufeisenmagneten gemacht sind, und daher das Feld, wie er selbst angibt, inhomogen war, muss ich meine Versuche, die im völlig homogenen Feld ausgeführt sind, für zuverlässiger ansehen.

Aus dem gleichen Grund muss ich gegenüber die Angabe von Austin und Starke[2]), die Sekundärstrahlen der Kathodenstrahlen hätten eine mit derjenigen der primären Kathodenstrahlen vergleichbare Geschwindigkeit, meinem entgegenstehenden Resultat den Vorzug geben.

W. Hermann und S. Kinoshita[3]) konnten durch Beobachtung des Dopplereffektes die Reflexion der Kanalstrahlen bestätigen. Zugleich ergibt sich hieraus, dass die Geschwindigkeit der reflektierten wenigstens zum grossen Teil von gleicher Grössenordnung ist wie die der einfallenden Kanalstrahlen.

Zusammenfassung.

1. Kanalstrahlen erzeugen auf einem Metall negative Sekundärstrahlung, die für die verschiedenen Metalle stark verschieden ist, und erfahren gleichzeitig eine diffuse Reflexion.

2. Die Sekundärstrahlung wächst bei Aluminium stark, bei Kupfer wenig mit dem Einfallswinkel.

3. Die Verschiedenheit für verschiedene Metalle bedingt den verschiedenen Kathodenfall der Metalle.

4. Die durch magnetische Ablenkung gemessene Geschwindigkeit der grössten Menge der Sekundärstrahlen beträgt ca. $3{,}4 \cdot 10^8 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ entsprechend ca. 30 Volt.

1) L. Austin, Phys. Rew. 22, 312—319. (1906).
2) L. Austin u. H. Starke, Ann. d. Phys. 9, 271. (1902).
3) Phys. Zeitschr. 7. 564 (1906).

5. Sie ist unabhängig von der Geschwindigkeit der einfallenden Kanalstrahlen, vom Gas, aus dem sie bestehen, und vom Einfallswinkel.

6. Die nämliche Geschwindigkeit haben die Sekundärstrahlen der Kathodenstrahlen.

Diese Sekundärstrahlen sind von den schnellen reflektierten Kathodenstrahlen durch eine Lücke getrennt.

7. Die gleiche Geschwindigkeit, wie von mir bei Sekundärstrahlen gefunden, besitzen nach P. Ewers auch die langsamen Poloniumstrahlen, die als Sekundärstrahlen der α-Strahlen aufgefasst werden.

8. Aus der Gleichheit der Geschwindigkeit schliesse ich, dass es sich nur um eine Auslösung handelt. Ich vermute, dass die obigen Vorgänge der Ionisation der Gase analog sind.

9. Verschiedene Einzelheiten, besonders der Einfluss des Einfallswinkels, folgen aus der Betrachtung der Absorption der einfallenden und der Sekundärstrahlen im Metall.

10. Photographische Versuche machen es sehr wahrscheinlich, dass die Kanalstrahlen beim Auftreffen auf Metalle auch sehr weiche Röntgenstrahlen, die nur wenige μ Aluminium durchdringen, erzeugen.